

STUDI STRUKTURMIKRO DAN MORFOLOGI FILM $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ YANG DITUMBUHKAN DI ATAS SUBSTRAT SAPHIRE (0006) DENGAN METODE MOCVD BERBANTUAN PLASMA

A. Subagio^{1,2}, H. Sutanto^{1,2}, E. Supriyanto^{1,3}, Irzaman⁴, M. Budiman¹,
P. Arifin¹, Sukirno¹ dan M. Barmawi¹

¹Fisika Material Elektronik - ITB
Jl Ganesha 10, Bandung 40132

²Jurusan Fisika FMIPA - UNDIP

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang 50275

³Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Negeri Jember
Kampus Tegalboto, Jl. Kalimantan III/24, Jember 68121

⁴Jurusan Fisika FMIPA - IPB
Kampus IPB, Darmaga Bogor

ABSTRAK

STUDI STRUKTURMIKRO DAN MORFOLOGI FILM $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ YANG DITUMBUHKAN DI ATAS SUBSTRAT SAPHIRE (0006) DENGAN METODE MOCVD BERBANTUAN PLASMA. Telah ditumbuhkan film tipis $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ di atas substrat *sapphire* (0006) dengan metode MOCVD berbantuan plasma. Penumbuhan dilakukan pada suhu 650 °C dengan variasi komposisi uap TMIIn (x_v) sebesar 10 %, 20 %, 30 %, 50 % dan 100 %. Hasil analisis XRD menunjukkan fenomena pemisahan fasa yang disebabkan oleh ketidaksesuaian kisi antara InN dan GaN pada film $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ dengan komposisi padatan indium (In) 0,02 dan 0,18. Proses nukleasi masih terjadi pada film-film ini, dimana tingkat kekasaran relatif masih tinggi sekitar 150 nm. Film dengan komposisi padatan indium (x) 0,28 dan 0,61 menunjukkan adanya kecenderungan fasa tunggal pada InGaN (0002). Mekanisme penggabungan (*coalescence*) *grain* terjadi pada film-film ini dengan ditandai oleh ekspansi *grain* secara lateral. Hal ini menyebabkan tingkat kekasaran permukaan relatif lebih rendah sekitar 100 nm.

Kata kunci : Film $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, MOCVD berbantuan plasma, morfologi permukaan

ABSTRACT

STUDY OF STRUCTUREMICRO AND MORPHOLOGY OF $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ FILM GROWN ON (0006) SAPHIRE SUBSTRATE BY PLASMA ASSISTED MOCVD. $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ film has been grown on sapphire substrate (0006) by plasma assisted MOCVD method. The growth was carried out at growth temperature of 650 °C, which TMIIn vapor composition (x_v) was varied of 10, 20, 30, 50 and 100%. The result of XRD characteristic showed phenomena of phase separation caused by a large lattice mismatch between InN and GaN in $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ films with indium solid composition of 0.02 and 0.18. Process of nucleation took place in these films, which rms roughness of films of 150 nm. $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ films with indium solid composition of 0.28 and 0.61 showed a tendency to form single crystal on InGaN (0002). The coalescence and laterally expansion of grain occur in here. This caused the rms roughness of surface films being relatively lower about 100 nm.

Key words : $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ film, plasma assisted MOCVD, surface morphology

PENDAHULUAN

Galium Nitrida (GaN) sebagai salah satu bahan semikonduktor golongan III-V adalah material prospektif yang memiliki celah energi langsung (*direct bandgap*), efisiensi absorpsi atau emisi luminesensi yang relatif tinggi, respon waktu yang relatif lebih cepat, waktu hidup lebih lama dan konsumsi energinya yang sangat rendah. Hal ini memungkinkan dibuat display menggunakan LED

dengan spektrum warna lengkap (biru, hijau, kuning, UV), dioda laser dan detektor [1].

InGaN yang merupakan paduan dari GaN dan InN, sebagai lapisan aktif LED dapat diatur panjang gelombangnya mulai dari cahaya tampak sampai *Ultra Violet* dengan celah pita energi dari 1,9 eV sampai dengan 3,4 eV. Kondisi ini memungkinkan untuk dibuat

LED terutama warna hijau dan biru dengan mengatur komposisi In (indium) di dalamnya. Namun demikian terdapat kendala di dalam penumbuhan film InGa_xN yang berkaitan dengan distribusi In (indium) yang tidak homogen [2,3] dan munculnya pemisahan (*separation*) fasa antara InN, GaN dan InGa_xN [4 - 8]. Ketidaksesuaian kisi antara InN dan GaN memberikan kendala tersendiri yang menyumbang munculnya permasalahan ketidakhomogenan distribusi maupun pemisahan fasa pada lapisan aktif InGa_xN.

Selain kendala berkaitan dengan ketidaksesuaian kisi tersebut maka di dalam proses pembuatan divais LED biasanya juga perlu diperhatikan morfologi permukaan. Divais LED biasanya mempunyai struktur hetero yang terdiri dari lapisan tipe-n, lapisan aktif dan lapisan tipe-p. Pada proses penumbuhan film hetero, perlu diperhatikan tingkat kekasaran permukaan film terutama pada lapisan aktifnya, dalam hal ini film InGa_xN. Semakin rendah tingkat kekasaran permukaan film maka semakin meningkat kualitas yang dihasilkan film tersebut.

Untuk itu dalam paper ini dilaporkan mengenai penelitian berkaitan sifat strukturmikro dan morfologi film InGa_xN yang ditumbuhkan dengan metode MOCVD berbantuan plasma

METODE PERCOBAAN

Semua sampel ditumbuhkan di atas substrat *sapphire* menggunakan metoda *Metalorganic Chemical Vapor Deposition (MOCVD)* berbantuan plasma. Plasma aplikator tipe *downstream* yang ditempatkan di bagian atas *chamber* beroperasi pada gelombang mikro 2,45 GHz dengan daya maksimum 250 watt digunakan untuk memberikan radikal N dari gas N₂. Daya yang digunakan dalam eksperimen ini adalah 200 watt.

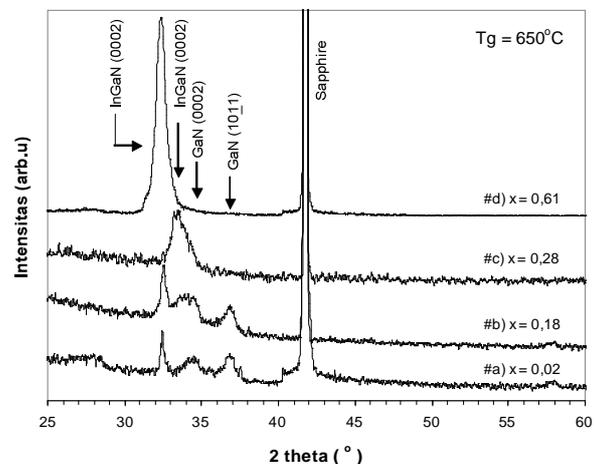
Substrat *sapphire* (0006) dicuci dengan metanol, aceton dan di-*etching* dengan larutan H₂SO₄: H₃PO₄: DI water = 3:1:1 pada suhu sekitar 70 °C selama 10 menit. Kemudian dilanjutkan pencucian dengan DI-water dan dikeringkan dengan gas nitrogen. Substrat dianil pada suhu 650°C dengan aliran gas H₂ selama 10 menit di dalam reaktor. Proses penumbuhan diawali dengan penumbuhan *buffer layer* GaN pada suhu 500 °C dengan mengalirkan *trimethylgallium* (TMGa) sebagai prekursor golongan III dan gas N₂ sebagai sumber radikal selama kurang lebih 10 menit hingga diperoleh ketebalan sekitar 250 Å. Selanjutnya suhu substrat dinaikkan sampai suhu penumbuhan InGa_xN sekitar 650 °C [9]. Selanjutnya dengan memvariasi komposisi *trimethylindium* (TMIn) sebagai sumber indium akan didapat beberapa film In_xGa_{1-x}N dengan variasi komposisi uap indium (x_v) sebesar 10 %, 20 %, 30 %, 50 % dan 100 %. Masing-masing film In_xGa_{1-x}N ditumbuhkan selama 2 jam. Film dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X (XRD) dengan peralatan Philips PW3710

menggunakan radiasi CuK_α (λ = 1,54056 Å) untuk mempelajari struktur kristal. Analisis SEM dengan peralatan JEOL JSM 6360LA dilakukan untuk mengetahui morfologi film yang dihasilkan. Sedangkan nukleasi film dikarakterisasi dengan AFM (*Atomic Force Microscopy*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

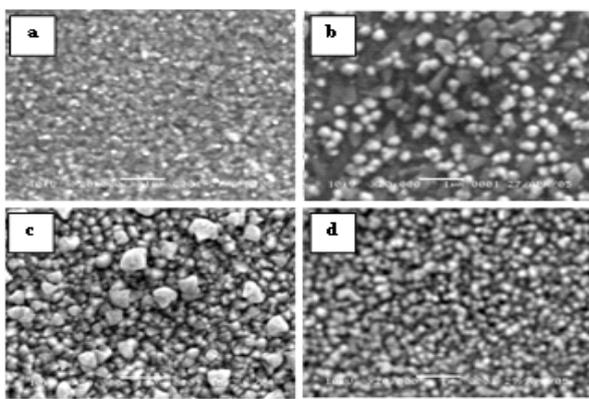
Pada Gambar 1, difraktogram XRD dari film InGa_xN yang ditumbuhkan pada suhu penumbuhan 650 °C yang menghasilkan variasi komposisi padatan indium (x) masing-masing (a) 0,02; (b) 0,18; (c) 0,28, (d) 0,61 dan (e) 1. Pada saat komposisi padatan In (indium) sebesar 0,02 dan 0,18 maka film yang dihasilkan mengalami pemisahan fasa berstruktur *wurtzite* (heksagonal) dengan orientasi kristalnya adalah InGa_xN (0002) pada 2θ = 32,4°, GaN (0002) pada 2θ = 34,6° dan GaN (10 $\bar{1}$ 1) pada 2θ = 36,9°. Pemisahan fasa ini kemungkinan disebabkan oleh suhu penumbuhan yang kurang tepat pada saat penumbuhan film dengan komposisi tersebut, sehingga jangkauan penumbuhan berada pada daerah *miscibility gap* dari GaN dan InN.

Pada film dengan komposisi padatan In (indium) sebesar 0,28 dihasilkan film berstruktur *wurtzite* (heksagonal) dengan orientasi kristal tunggal InGa_xN (0002) pada 2θ = 33,6°. Pada kondisi penumbuhan film ini kemungkinan *miscibility gap* dari GaN dan InN tidak terjadi, namun demikian ketidakhomogenan ukuran grain menyumbang pelebaran puncak InGa_xN (0002). Pada film dengan komposisi padatan In (indium) sebesar 0,61 telah menghasilkan film berstruktur *wurtzite* (heksagonal) dengan orientasi kristal tunggal pada InGa_xN (0002) pada 2θ = 32,4°, dimana puncak yang dihasilkan cukup tinggi menunjukkan adanya kualitas kekrystalan yang lebih baik dibandingkan dengan film lainnya. Hal ini berarti suhu penumbuhan 650 °C telah tepat digunakan untuk penumbuhan film InGa_xN dengan komposisi ini.



Gambar 1. Spektrum XRD dari film In_xGa_{1-x}N yang ditumbuhkan di atas substrat *sapphire* (0006) dengan variasi komposisi padatan indium masing-masing a) 0,02; b) 0,18; c) 0,28 dan d) 0,61.

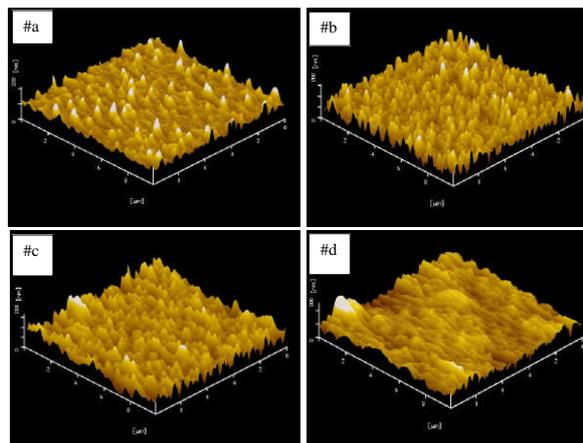
Pada Gambar 2 menunjukkan citra SEM dari permukaan film $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ perbesaran 20.000 kali dengan variasi komposisi padatan indium (x) masing-masing: (a) 0,02; (b) 0,18; (c) 0,28 dan (d) 0,61. Pada film $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ dengan komposisi padatan indium yang kecil $x = 0,02$ dan 0,18 (Gambar 2a dan Gambar 2b) menunjukkan proses nukleasi masih terjadi dan proses penggabungan (*coalescence*) antar *grain* belum terjadi. Pada proses ini kemungkinan besar dapat terjadi droplet pada film yang selanjutnya menyebabkan adanya mekanisme pemisahan fasa. Hal ini bersesuaian dengan analisis XRD dimana pada film dengan komposisi tersebut terjadi pemisahan fasa antara InGaN (0002), GaN (0002) dan GaN (10 $\bar{1}$ 1). Sebaliknya proses penggabungan (*coalescence*) antar *grain* terjadi pada film $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ dengan komposisi indium $x = 0,28$ dan 0,61 (Gambar 2c dan Gambar 2d) dimana proses ekspansi *grain* terjadi secara lateral, sehingga menyebabkan adanya mekanisme penggabungan antar *grain*. Hal ini menghasilkan peningkatan kualitas permukaan pada film dimana ditandai dengan hasil analisis XRD yang menunjukkan struktur kristal tunggal InGaN (0002). Namun demikian pada film dengan $x = 0,28$ mempunyai puncak InGaN (0002) yang masih melebar oleh adanya ukuran *grain* yang belum homogen. Dengan demikian analisis morfologi ini memperkuat data XRD yang sudah dijelaskan sebelumnya.



Gambar 2. Citra SEM dari permukaan film $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang ditumbuhkan di atas substrat sapphire (0006) dengan variasi komposisi padatan indium (x) masing-masing: (a) 0,02; (b) 0,18; (c) 0,28 dan (d) 0,61.

Pada Gambar 3 menunjukkan citra permukaan AFM untuk film $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ dengan variasi komposisi padatan indium (x) masing-masing: (a) 0,02; (b) 0,18; (c) 0,28 dan (d) 0,61. Pada proses nukleasi biasanya ditandai dengan peningkatan tinggi *grain* dimana dalam analisis AFM biasanya dinyatakan dengan tingkat kekasaran rata-rata (*rms roughness*) film. Dari analisis AFM ini, film $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ dengan komposisi $x = 0,02$ dan 0,18 keduanya mempunyai tingkat kekasaran 150 nm yang lebih besar dibandingkan dengan film $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ pada komposisi $x = 0,28$ dan $x = 0,61$ dimana keduanya mempunyai tingkat kekasaran 100 nm. Seperti

yang telah dijelaskan di atas bahwa pada film $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ dengan komposisi $x = 0,28$ dan $x = 0,61$ telah terjadi mekanisme penggabungan (*coalescence*) *grain*, sehingga mekanisme ini akan menurunkan tingkat kekasaran pada permukaan film. Pada mekanisme penggabungan *grain* inilah film mengalami peningkatan kualitas yang ditandai dengan munculnya struktur kristal tunggal.



Gambar 3. Citra AFM dari permukaan film $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang ditumbuhkan di atas substrat sapphire (0006) dengan variasi komposisi padatan indium (x) masing-masing: (a) 0,02; (b) 0,18; (c) 0,28 dan (d) 0,61.

KESIMPULAN

Penumbuhan film InGaN di atas substrat sapphire (0006) pada suhu penumbuhan 650 °C memberikan informasi bahwa film dengan komposisi padatan indium (x) 0,02 dan 0,18 menunjukkan adanya fenomena pemisahan fasa antara InGaN dan GaN. Proses nukleasi masih terjadi sehingga mekanisme penggabungan (*coalescence*) *grain* belum nampak, sehingga hal ini mempengaruhi tingkat kekasaran yang relatif masih tinggi sekitar 150 nm. Film dengan komposisi padatan indium (x) 0,28 dan 0,61 menunjukkan adanya kecenderungan fasa tunggal pada InGaN (0002). Mekanisme penggabungan (*coalescence*) *grain* terjadi pada film-film ini dengan ditandai oleh penurunan tingkat kekasaran permukaan sekitar 100 nm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Seluruh pendanaan penelitian ini didukung oleh proyek penelitian RUT-IX, Kementerian Riset dan Teknologi, RI. Terimakasih juga kami sampaikan kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Mikroelektronik KUKUM Malaysia yang telah membantu dalam karakterisasi AFM.

DAFTARACUAN

- [1]. S. NAKAMURA, M. SENOH, S. NAGAHAMA, N. IWASA, T. YAMADA, T. MATSUSHITA, Y. SUGIMOTO and H. KIYOKU, *Appl. Phys. Lett.*, **76** (1999) 22-24

- [2]. S.F. CHICHIBU, A.C. ABARE, M.S. MINSKY, S. KELLER, S.B. FLEISCHER, J.E. BOWERS, E. HU, U.K. MISHRA, L.A. COLDREN and S.P. DEN BAARS, *Appl. Phys. Lett.*, **73** (1998) 2006-2008
- [3]. A. KANETA, T. IZUMI, K. OKAMOTO, Y. KAWAKAMI, S. FUJITA, Y. NARITA, T. INOUE and T. MUKAI, *Jpn. Jour. Appl. Phys.*, **40** (2001) 110-111
- [4]. D. DOPPALAPUDI, BASU S.N., LUDWIG K.F. JR. and MOUSTAKAS T.D., *Jour. of Appl. Phys.*, **84** (1998) 3
- [5]. A. TABATA, *Appl. Phys. Lett.*, **80** (2002) 769-771
- [6]. N. DUXBURY, *Appl. Phys. Lett.*, **76** (2000) 1600-1602
- [7]. T. MATSUOKA, *MRS Internet Jour. Nitride Semiconductor. Res. 3*, **54** (1998)
- [8]. S. YU. KARPOV, *MRS Internet Jour. Nitride Semiconductor. Res. 3*, **16** (1998)
- [9]. A. SUBAGIO, H. SUTANTO, E. SUPRIYANTO, SUGIANTO, M. BUDIMAN, P. ARIFIN and M. BARMAWI, *Proceeding of the First Jogja Regional Physics Conference*, (2004)